

0721737-1

На правах рукописи

ДУБКОВА НАИЛЯ ЗУФАРОВНА

**ПОЛУЧЕНИЕ ПИЩЕВЫХ ПОРОШКООБРАЗНЫХ ПРОДУКТОВ ИЗ
РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ**

05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых производств

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Казань 2001

Работа выполнена в Казанском государственном технологическом университете.

Научный руководитель:

доктор технических наук,
профессор Николаев Н.А.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,
профессор Маминов О.В.
доктор технических наук,
профессор Шарафутдинов В.Ф.

Ведущая организация:

ТатНИИСХ "Нива Татарстана"

Защита диссертации состоится 8 июня 2001 г. в 14 часов
на заседании диссертационного совета Д 212.080.06 при Казанском государственном технологическом университете по адресу: 420015, г. Казань, ул. К.Маркса, 68
(зал заседаний учёного совета), А –330.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казанского государственного технологического университета

Автореферат разослан « 4 » мая 2001 г.

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА
КФУ



Учёный секретарь

диссертационного совета

доктор технических наук, профессор

Поникаров С.И.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Основной целью сельскохозяйственной перерабатывающей промышленности является гарантированное снабжение населения качественными натуральными продуктами и обеспечение длительного срока хранения сырья для пищевой индустрии.

Традиционные формы хранения и транспортирования растительного сырья (в натуральном и замороженном виде, в виде консервированных соков, паст и т.д.) имеют ограниченные сроки хранения даже при организации условий хранения в узком диапазоне оптимальных параметров окружающей среды в хранилищах, большой объём, делает их хранение и транспортировку сложным, дорогостоящим, громоздким и энергоёмким. При этом неизбежны потери, как самого продукта, так и его ценных компонентов при хранении и воздействии внутренней влаги и температуры.

Порошковый способ является наиболее перспективным, эффективным и компактным способом длительного, без потерь, хранения и транспортировки растительного сырья. Кроме того, в качестве сырья для этой технологии, наряду с натуральным цельным сырьём, могут использоваться остатки других производств по переработке ягод, фруктов, овощей.

Пищевые порошки имеют целый ряд особенностей, которые выгодно отличают их от других форм пищевых продуктов. Они освобождены от значительной части влаги, содержащейся в обычных продуктах, в связи с чем, имеют незначительный объём, массу и высокую концентрацию питательных веществ. Низкая влажность порошков благоприятствует их длительному хранению без потери качества. Порошки обладают высокими органолептическими свойствами и максимально сохраняют питательные свойства исходного продукта.

Существующие способы получения порошков состоят из двух этапов: сушки и измельчения, являются громоздкими в аппаратном оформлении, энергоёмкими, продолжительными по времени. Поэтому разработка технологии получения порошков совмещением процессов сушки и измельчения при интенсивном перемешивании в одном аппарате весьма актуальна.

Цель работы. Целью данной работы является экспериментальное и теоретическое исследование нового способа получения порошков из растительного сырья в вибрационной вакуумной сушилке-мельнице, разработка его математического описания научно-обоснованным методом и создание методики инженерного расчета.

Научная новизна. Разработан новый способ получения порошков из растительного сырья, совмещающий процессы вакуумной сушки и вибрационного измельчения материала в одном аппарате. На способ получен патент РФ №2064477. Экспериментальные исследования кинетики сушки растительного сырья показали, весь процесс сушки протекает исключительно в первом наиболее интенсивном периоде. На основании существующих моделей вакуумной сушки и сушки в виброкипящем слое и всестороннего исследования кинетики сушки и измельчения растительного сырья предложена научно обоснованная методика расчета процесса полу-

чения порошков с учетом особенностей теплообмена и кинетики измельчения в вибрационной вакуумной сушилке-мельнице.

Практическая ценность. Впервые предложен способ получения порошков совмещением процессов вакуумной сушки и вибрационного измельчения в одном аппарате, на который получен патент РФ №2064477. В результате проведенных экспериментальных исследований сушки и измельчения растительного сырья показана высокая эффективность предлагаемого способа. Предложена к применению на практике вибрационная вакуумная сушилка-мельница, обеспечивающая получение порошков высокой дисперсности и низкой влажности (4-8 % химически связанной влаги). Получено свидетельство на полезную модель ВВСМ и заключение о пригодности аппарата для переработки пищевых продуктов. На полученные порошки выдан гигиенический сертификат и разработаны технические условия. Разработана методика технологического расчета вибрационной вакуумной сушилки-мельницы. По сравнению с используемыми прежде технологиями получения порошков данный способ является менее энергоемким, непродолжительным во времени и позволяет сохранять питательные свойства исходного сырья.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались: на международной научно-технической конференции: "Холод и пищевые производства", С.Петербург, 1996г.; на межрегиональных научно-практических конференциях "Пищевая промышленность-2000" Казань, 1996г, 1998 г.; на международной научно-технической конференции "Ресурсосберегающие технологии пищевых производств" С.Петербург, 1998г.; на международной конференции "Методы кибернетики химико-технологических процессов", Москва – Казань – Уфа, 1999г.; на конференциях молодых ученых "Пищевые технологии", Казань, 1998 г, 1999г.; на совместном заседании президиума АН РТ и коллегии министерства и продовольствия РТ, Казань, 1996; на ежегодных научных сессиях КГТУ, Казань, 1995-2001гг. Разработана техническая документация на вибрационную вакуумную сушилку-мельницу объемом 200 л. Промышленные образцы аппаратов, изготовленных по этой технической документации работают на предприятиях отрасли.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 18 работ.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, основных результатов, приложений и списка литературы, содержащего 170 источников. Работа изложена на 139 страницах печатного текста (из них 14 - приложения) и содержит 28 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение. Показана необходимость решения проблемы хранения и переработки растительного сырья, а также актуальность проблемы создания новых энергосберегающих технологий переработки растительного сырья с сохранением его исходных ценных компонентов.

Первая глава. На основании анализа химического состава, строения, питательной ценности, полезных свойств различных классов растительного сырья и

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА
им. Н. И. ЛОБАЧЕВСКОГО
КАЗАНСКОГО ГОС УНИВЕРСИТЕТА

широты применения как компонентов пищи произведен выбор необходимых и ценных представителей этих классов как объектов исследования.

Выполнен обзор различных способов хранения растительного сырья, показаны их преимущества и недостатки. Представлена порошковая форма, являющаяся наиболее перспективным, эффективным и компактным способом длительного, без потерь, хранения и транспортировки растительного сырья.

Существующие технологии переработки растительного сырья в порошки являются энергоемкими, громоздкими в аппаратном оформлении, продолжительны по времени. Представлена новая технология получения порошков из растительного сырья. Процесс сушки проводится под вакуумом с применением внешнего подогрева при сопутствующем измельчении и смешении. Измельчение продукта в процессе сушки мелющими телами, загружаемыми в аппарат, постоянно обновляет поверхность испарения со свободной влагой, обеспечивая первый период сушки на все время процесса, а также исключает налипание частиц загрузки на греющую поверхность. Вибрационное перемешивание всей загрузки способствует выравниванию температуры и влажности во всем объеме загрузки и интенсификации теплообмена. Вакуумирование позволяет исключить перегрев материала, обеспечивая сохранение всех качеств исходного продукта. При этом для поддержания темпера-

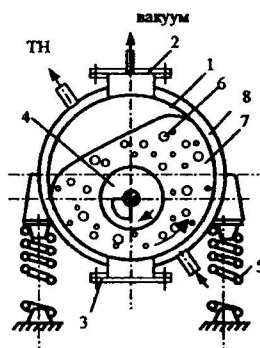


Рис.1. Вибро-вакуумная сушилка-мельница: 1- корпус; 2, 3- крышка загрузочного и выгрузочного люков; 4- вибратор; 5- упругая опора; 6- мелющие тела; 7- обрабатываемый материал; 8- теплообменная рубашка.

туры высушиваемого материала производится подвод тепла через нагретую поверхность, компенсирующий теплопотери парообразования и различные потери тепла. Непрерывный отсос паров испарившейся влаги поддерживает постоянный градиент концентрации влаги в аппарате.

Предложена конструкция вибро-вакуумной сушилки - мельницы, в которой реализован представленный способ получения порошков из растительного сырья (рис.1). Горизонтальный цилиндрический корпус с центральной трубой, в которой размещен на подшипниках вал двухмассного инерционного вибратора, установлен на упругих опорах. Вибратор вращается от электродвигателя через гибкую муфту. Корпус вибросушилки снабжен рубашкой для подачи в нее теплоносителя (ТН). Подготовленное сырье загружается через верхний люк, крышка

люка плотно закрывается и включается система вакуумирования. В рубашку подается теплоноситель, и температура в аппарате доводится до заданного значения. После этого включается привод сушилки и начинается процесс сушки материала. Комплексные лабораторные и промышленные испытания проведены на установках

объемом 0.4 и 200 литров, получены порошки из различных видов растительного сырья (корнеплоды, ягоды, травы).

Изложение первой главы завершается постановкой основных задач исследования:

- выбор оптимальных параметров процессов сушки, смешения и измельчения при получении порошков в вибрационной вакуумной сушилке-мельнице.
- проверка эффективности предложенного способа и, учитывая многофакторность процесса, оценка влияния различных факторов на кинетику процесса на основании проведенных экспериментальных исследований.
- разработка математического описания процесса вакуумной сушки с учетом особенностей теплообмена в виброкипящем слое материала и кинетики измельчения в процессе получения порошков.
- разработка инженерной методики расчета вибрационной сушилки-мельницы и рекомендаций по внедрению.

Во второй главе представлено теоретическое и экспериментальное изучение процесса сушки растительного сырья, как основного процесса получения порошков.

Основной особенностью процесса сушки растительного сырья являются ограничения по температуре и высокой тепловой нагрузке.

Поэтому температура теплоносителя для сушки растительного сырья принимается не выше 80°C для сохранения состава и качества исходного сырья. Температура внутри вибрационной вакуумной сушилки-мельницы регулируется изменением давления внутри аппарата.

Остаточное давление процесса 10 мм.рт.ст. достаточно для создания градиента температуры между греющей поверхностью и высушиваемым материалом, который обеспечивает интенсивное испарение влаги при сохранении исходного качества сырья.

Оптимальные параметры вибрации выбираются для обеспечения интенсивного перемешивания и измельчения материала. Вибрационное перемешивание при этих параметрах должно обеспечивать максимальный теплообмен между греющей поверхностью и обрабатываемым материалом, который определяет интенсивность сушки в целом.

Выбранные параметры вибрации должны быть оптимальными для процесса измельчения материала, что позволяет

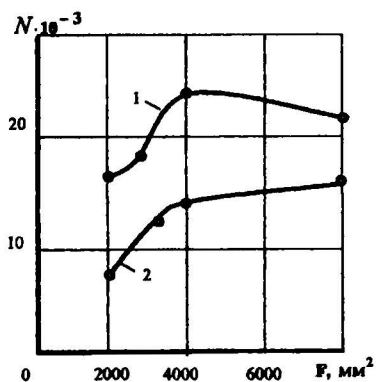


Рис.2. Кривая изменения скорости первого периода контактной сушки свеклы от начального размера частиц материала: 1- сушка при вакууме; 2- сушка при атмосферном давлении.

проводить процесс в первом интенсивном периоде сушки при постоянной температуре материала.

Учитывая многофакторность процесса получения порошков в вибрационной вакуумной сушилке-мельнице, проводились экспериментальные исследования в лабораторной вибровacuумной сушилке-мельнице по оценке степени влияния вакуума, вибрации, измельчения на кинетику сушки на примере черной смородины, репчатого лука, картофеля, свеклы, ярких представителей различных классов растительного сырья, составляющие основную и незаменимую часть рациона питания людей России. Для сравнительной оценки результатов сушки в вибрационной вакуумной сушилке-мельнице, а также для выбора начального размера частиц проводились экспериментальные исследования контактной сушки в вакуумном и атмосферном шкафах.

Анализируя полученные кривые скорости сушки и изменения влажности можно сделать следующие выводы:

1. Зависимость скорости сушки при различных размерах частиц (рис. 2) показывает, что уменьшение размеров частиц менее чем $10\text{мм} \times 10\text{мм} \times 10\text{мм}$ увеличивает скорость сушки незначительно, либо уменьшает его. Такая закономерность сохраняется как при сушке при атмосферном давлении, так и при вакуумной сушке. Поэтому в технологическом процессе получения порошка для подготовки сырья можно использовать фазу подготовки корнеплодов для получения консервированного гарнира из свеклы или моркови с размером частиц $10\text{мм} \times 10\text{мм} \times 10\text{мм}$.

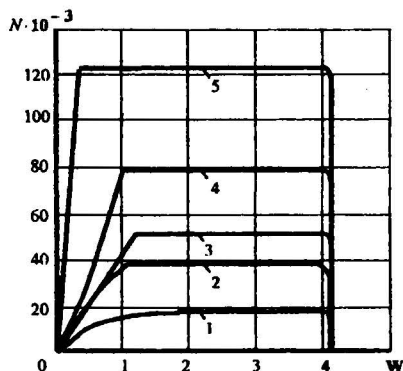


Рис.3. Кривые скорости сушки картофеля: 1- контактная сушка при атмосферном давлении; 2- контактная сушка в вакуумном шкафу; 3- вакуумная сушка в ВСМ; 4- вибро-вакуумная сушка; 5- вибро-вакуумная сушка с одновременным измельчением

гарнира из свеклы или моркови с размером частиц $10\text{мм} \times 10\text{мм} \times 10\text{мм}$.

2. Сравнение контактной сушки материалов в шкафах при атмосферном давлении и вакууме (рис.3) показывает, что снижение давления до 1333 Па увеличивает скорость сушки в 2-2.5 раза.

3. Вибрационное перемешивание в процессе сушки способствует интенсивному теплообмену между греющей поверхностью и загрузкой за счет перераспределения нагретых частиц в объеме загрузки, что выравнивает температуру и влажность в нем. Таким образом, в процессе вибрационной сушки (рис.3) скорость процесса возрастает в 3-3.5 раза по сравнению с контактной сушилкой при атмосферном давлении.

4. Однако, основная интенсификация сушки растительного сырья происходит за счет применения одновременного вибрационного измельчения в процессе вакуум-

ной сушилки, что позволяет проводить процесс исключительно в первом периоде за счет постоянного увеличения поверхности удаления влаги и увеличивает скорость процесса (рис. 3) в 4-5 раз по сравнению с контактной сушилкой при атмосферном давлении.

Полученные экспериментальные данные по степени влияния на процесс сушки смешения и измельчения позволили найти способ решения совместного математического описания этих процессов с достаточно высокой точностью и определить степень влияния отдельных параметров на кинетику процесса, а также оценить величину ошибки, вводимой каждым параметром в математическое описание всего сложного процесса.

Представлено математическое описание процесса вакуумной сушки с учетом особенностей теплообмена в виброкипящем слое загрузки и кинетики измельчения.

Процесс сушки при пониженном давлении в первый период сушки однозначно определяется давлением в сушильной камере. Тепловой поток $Q_{\text{прих}}$, передаваемый от источника тепла к нагреваемому материалу в практических расчетах рассчитывают по формуле Ньютона:

$$Q_{\text{прих}} = \alpha \cdot F \cdot (T_{\text{гр}} - T_{\text{м}}) \quad (1)$$

В течение установившегося процесса сушки тепло, подводимое теплоносителем, затрачивается только на испарение влаги. Тогда уравнение теплового баланса запишется в следующем виде:

$$\alpha \cdot F \cdot (T_{\text{гр}} - T_{\text{м}}) = r \frac{du}{dt} \quad (2)$$

Коэффициент теплообмена между греющей поверхностью и высушиваемым материалом, который будет меняться в течение процесса сушки, находят по формуле:

$$\alpha = \sqrt{\lambda_s \rho_s c_s} / \sqrt{\pi \tau_s} \quad (3)$$

С изменением влажности и дисперсного состава материала изменяются и теплофизические характеристики. Коэффициенты теплопроводности, теплоемкости и плотность загрузки находятся с учетом этих изменений и изменения соотношения мелющих тел: материал за счет уменьшения в процессе сушки последнего.

В начальной стадии сушки загрузка состоит из высушиваемого материала и мелющих тел в равном объемном соотношении. Порозность виброожиженной смеси зависит от конструктивных и режимных параметров вибросмесителя, а также от свойств материала и среды в аппарате:

$$\varepsilon = 0.287 \left(\frac{\rho_s d_s^2 \omega^*}{\mu_s} \right)^{-0.0016} \left(\frac{A_K}{d_s} \right)^{0.092} \left(\frac{A_K \omega^2}{g} \right)^{0.144} \left(\frac{m}{R_s^3 \rho_M} \right)^{0.176} \left(\frac{r_{11}}{R_s} \right)^{0.22} \quad (4)$$

$$\omega^* = \exp \left[3.29 \left(\ln \frac{A_K \omega^2}{g} \right)^{0.25} \right]; \quad \frac{r_{11}}{R_s} = 0.6 \quad (5)$$

Доля периода контакта загрузки с греющей поверхностью τ_d находится с учетом взаимодействия загрузки с корпусом аппарата при изменении влажности и объема загрузки.

В начальный момент времени поверхность корпуса является действительной активной поверхностью контакта, которая зависит от коэффициента заполнения за счет уменьшения влажности и соответственно объема материала. При достижении влажности материала менее 30% начинается интенсивная циркуляция загрузки, и поверхность теплообмена рассчитывается исходя из условий полета и скольжения загрузки по теории взаимодействия загрузки с корпусом.

В первом периоде сушки, при проведении процесса сушки с постоянным давлением в системе, температура материала постоянна и определяется из приближенного решения уравнения Антуана:

$$T_m = \frac{B}{A - \ln P_H} \quad (6)$$

Принимаем, что вакуум-насос откачивает весь сухой воздух из аппарата, и давление в камере становится равным давлению насыщенного водяного пара.

Если сушильная камера непосредственно присоединена к непрерывно работающему вакуум-наосу, то кинетические характеристики процесса сушки будут определяться скоростью отвода испарившейся влаги, которая зависит от характеристики вакуумного насоса. Для получения аналитической зависимости, описывающей испарение влаги при постоянном пониженном давлении, исходим из того, что разность между интенсивностью откачивания пара вакуумным насосом и интенсивностью испарения жидкости равна изменению количества пара в сушильной камере во времени. Однако, при постоянном давлении в камере аппарата, изменение количества пара в сушильной камере во времени равно нулю. Тогда уравнение материального баланса запишется следующим образом:

$$q_{исп} - \rho \cdot Q_H = 0 \quad (7)$$

Необходимо учесть, что пар, образующийся при сушке, отводится вакуумным насосом в конденсатор. Для каждого типа насоса имеются свои соотношения, определяющие их объемную производительность.

Интенсивность испарения жидкости можно определить по формуле:

$$q_{исп} = -\frac{du}{dt} \cdot m_c \quad (8)$$

Плотность пара рассчитываем по соотношению:

$$\rho = \frac{P_H}{RT_M} \cdot M \quad (9)$$

Подставив выражения (8,9) в (7) и, сделав некоторые преобразования, получим:

$$\frac{du}{d\tau} = - \frac{P_H M Q_H (A - \ln P_H)}{R B m_c} \quad (10)$$

Подставив выражение (2) в (10), получим уравнение тепломассопереноса:

$$\frac{d(\alpha F)}{d\tau} \cdot (T_{гр} - T_M) = -r \cdot \frac{P_H M Q_H (A - \ln P_H)}{R B m_c} \quad (11)$$

Преобразовав выражение (11), разделив переменные и проинтегрировав, получим:

$$\alpha F = - \frac{r P_H M Q_H (A - \ln P_H)}{R B m_c (T_{гр} - T_M)} \tau + C \quad (12)$$

Граничные условия:

$$\text{при } \tau = 0 \quad \alpha F = \alpha_{нач} F_{нач}$$

$$\text{при } \tau = \tau_{сущ} \quad \alpha F = \alpha_{кон} F_{кон}$$

Подставляя граничные условия в формулу (12) можно рассчитать время сушки:

$$\tau = - \frac{(\alpha_{нач} F_{нач} - \alpha_{кон} F_{кон}) R B m_c (T_{гр} - T_M)}{r P_H M Q_H (A - \ln P_H)} \quad (13)$$

Граничные условия отражают характер взаимодействия загрузки с корпусом во время вибрационного воздействия, изменение объема и дисперсного состава материала в процессе сушки.

Предложенное математическое описание процесса получения порошков адекватно описывает эксперимент. При этом, среднестатистическая ошибка не превышает 10%.

В третьей главе проведен анализ литературы по движению и взаимодействию загрузки с корпусом аппарата с целью определения оптимальных параметров вибрации из условия максимально интенсивного перемешивания материала. Установлены пределы изменения критериев, по которым можно рассчитать параметры вибрации, обеспечивающие интенсивное перемешивание загрузки в аппарате:

$$\Pi_1 = \frac{A_k}{D} = (5 \div 7) 10^{-3} \text{ и } F\Gamma = \frac{A_k \omega^2}{g} = 8 \div 11.$$

Затраты мощности на колебания аппарата с загрузкой, которые составляют основную часть затрат мощности на перемешивание и измельчение материала, зависят от изменения массы материала при сушке и коэффициента внешнего трения материала загрузки о материал корпуса.

Проведены экспериментальные исследования и получены данные изменения коэффициентов внешнего трения растительного сырья о поверхность аппарата от влажности.

Представлен расчет теплового баланса в вибрационной вакуумной сушилке-мельнице, на основании которого можно сделать вывод, что с началом интенсивной циркуляции загрузки, тепла на испарение влаги затрачивается значительно меньше в связи с появлением циркуляции.

В четвертой главе проведены экспериментальные исследования измельчения картофеля разной влажности при различных параметрах вибрации ($Fg = 11$, $Fg = 13$, $Fg = 17$). На основании полученных экспериментальных данных были рассчитаны параметры математической модели измельчения, предложенной Александровским А.А. и Ахмадеевым Ф.Г., с учетом изменения влажности в процессе получения порошков в вибрационной вакуумной сушилке-мельнице, которые в явном виде имеют вид:

$$\ln \lambda = -0.202 + 0.049 \cdot W \quad (15)$$

$$\ln \beta = 0.0398 + 0.00024 \cdot W \quad (16)$$

По результатам расчета кинетики измельчения была построена кривая кинетики

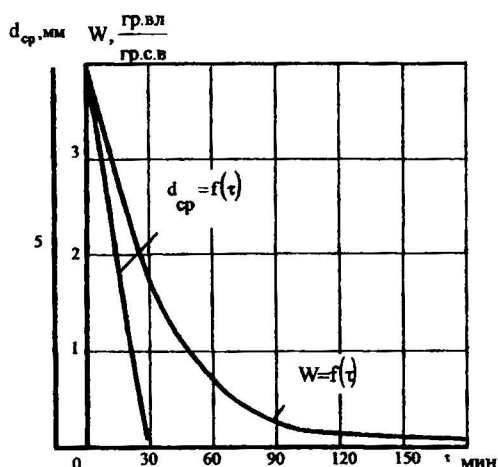


Рис.4. Кривые сушки и измельчения в процессе получения порошков.

измельчения с целью сравнения ее с кинетикой сушки в процессе получения порошков. Сравнительная оценка кинетики вибровакуумной сушки и измельчения (рис.4) позволила сделать вывод, что измельчение не является лимитирующей стадией процесса получения порошков, так как протекает значительно быстрее, и при этом обеспечивает проведение сушки исключительно в первом периоде сушки за счет обеспечения постоянно обновляемой поверхности испарения.

В пятой главе представлена инженерная методика расчета вибрационной вакуумной сушилки-мельницы. По заданной производительности по порошку

рассчитывается производительность исходного материала, объем аппарата, габаритные размеры, оптимальные параметры вибрации, конструктивные элементы вибромашины, мощность электродвигателя. Представлена блок-схема технологического расчета вибрационной вакуумной сушилки-мельницы. Приведены примеры расчета вибрационной вакуумной сушилки-мельницы по заданной производительности по порошку 30 кг/час, 6 кг/час, 0.05 кг/час.

Условные обозначения: P_t - параметрический критерий; A - коэффициент Антуана для воды; A_k - амплитуда колебаний, м; B - коэффициент Антуана для

воды; c_s - удельная теплоемкость материала, Дж/кг·град; D - внутренний диаметр корпуса смесителя, м; d_s - эквивалентный диаметр частиц материала и мелющих тел, м; $d_{ср}$ - средний диаметр частиц, м; F - площадь теплообмена, m^2 ; Fr - критерий Фруда; g - ускорение свободного падения, m/s^2 ; M - молекулярный вес воды, кг/моль; m_s - масса сухого материала, кг; m - масса загрузки, кг; N - скорость сушки, кг.вл./кг.с·мин; P_n - давление в вакуум - системе, кПа; $q_{исп}$ - интенсивность испарения жидкости, kg^2/s ; $Q_{врик}$ - количество тепла, передаваемого от стенки корпуса к материалу, Дж; Q_n - производительность насоса, kg/m^3 ; Q_k - производительность конденсатора, kg/m^3 ; r_n - расстояние от точки регистрации локальной порозности до условного центра вращения загрузки, м; R_k - радиус цилиндрической части корпуса вибросмесителя, м; R - универсальная газовая постоянная, Дж/кг·К; r - удельная теплота парообразования, Дж / кг; T_m - температура материала, °С; T_p - температура греющей поверхности, °С; u - влагосодержание материала, кг вл./кг.с.; W - влажность, кг.вл./кг.с.в.; α - коэффициент теплоотдачи, Вт / m^2 ·град; ϵ - порозность; ρ_n - насыпная плотность загрузки, kg/m^3 ; β, λ - параметры модели измельчения; ρ_s, μ_s - плотность и коэффициент динамической вязкости среды в которой происходит процесс, $kg/m^3, kg/(m \cdot c)$; λ_s - коэффициент теплопроводности загрузки, Вт/м·град; ρ - плотность пара, kg/m^3 ; ρ_s - плотность загрузки, kg/m^3 ; ρ_m - плотность материала, kg/m^3 ; τ_k - доля периода контакта загрузки с греющей поверхностью; τ - время, с; ω^* - скорость движения частиц материала; ω - угловая скорость вращения вала вибратора, 1/с.

Индексы: нач, кон – соответствует начальному и конечному значению времени сушки.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Анализ существующих способов хранения растительного сырья показал, что порошковая форма хранения и транспортировки является наиболее перспективной, компактной и эффективной формой.

2. Впервые разработан способ получения порошковой формы растительного сырья совмещением процессов сушки, смешения и измельчения в одном аппарате, позволяющий проводить весь процесс сушки исключительно в первом наиболее интенсивном периоде. Способ защищен патентом РФ №2064477.

3. Способ реализован в вибрационной вакуумной сушилке-мельнице, на которую получено свидетельство на полезную модель № 14649.

4. На основании теоретического анализа взаимодействия загрузки и корпуса аппарата выявлены параметры вибрации (A_k , ω , $k_{\text{зад}}$), обеспечивающие максимальную скорость смешения, которая определяет интенсивность теплообмена между греющей поверхностью и высушиваемым материалом.

5. Экспериментально получены интервалы оптимальных параметров в виде критериев: параметрического $П_1 = \frac{A_k}{D} = (5 \div 7) \cdot 10^{-3}$ и Фруда $Fr = \frac{A_k \omega^2}{g} = 8 \div 11$, обеспечивающих максимальную интенсивность теплообмена.

6. Экспериментально оценена степень влияния на сушку термолабильных продуктов давления, измельчения и начального размера частиц загрузки.

7. Теоретические и экспериментальные исследования кинетики измельчения позволили установить:

а) оптимальные параметры вибрации соответствуют параметрам, обеспечивающим максимальную скорость вибрационного смешения;

б) выбрана математическая модель, адекватно описывающая кинетику измельчения растительного сырья;

в) экспериментально установлена зависимость параметров модели от влажности, изменяющейся в процессе сушки и сопутствующего измельчения;

г) процесс измельчения не является лимитирующей стадией процесса получения порошков, а обеспечивает первый период сушки до полного удаления влаги.

8. Разработано математическое описание процесса вакуумной сушки с учетом особенностей теплообмена и измельчения при вибрационном воздействии.

9. Проверена адекватность данного математического описания процесса получения порошков экспериментальным данным. Получена удовлетворительная сходимость расчетных и экспериментальных значений времени сушки. Среднестатистическая ошибка не превышает 10%.

10. На порошки из растительного сырья разработаны технические условия ТУ 9164-001-2069635-93 "Порошки пищевые растительного происхождения", получен гигиенический сертификат № 478358 от лаборатории на основании протокола анализа качества порошков в лаборатории СЭС.

11. Разработана инженерная методика расчета вибрационной вакуумной сушилки-мельницы, представлена блок-схема и примеры расчета.

12. С использованием методики расчета разработана техническая документация на вибрационную вакуумную сушилку-мельницу объемом 200 л., на основании которой изготовлен промышленный образец, реализованный на ряде перерабатывающих предприятий.

13. На техническую документацию имеется заключение регионального отделения санэпиднадзора и НПО "Пищепромпроектмаш".

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Галиакберов З.К., Николаев Н.А., Галиакберова Н.З. Способ получения порошков из сырья растительного происхождения. Патент РФ №2064477 БИ № 21 27.07.96.

2. Галиакберов З.К., Николаев Н.А., Галиакберова Н.З. Получение сухих порошков из растительного сырья. // Пищевая промышленность, 1995, № 9, с.32.

3. Галиакберов З.К., Николаев Н.А., Дубкова Н.З. Производство пищевых порошков из растительного сырья. // Тез. докл. международной научно-технической конференции "Холод и пищевые производства". С.Петербург, 1996.- с.167.

4. Дубкова Н.З., Галиакберов З.К., Николаев Н.А. Сухие напитки с мякотью. // Тез. докл. межрегиональной научно-практической конференции "Пищевая промышленность-2000", Казань, 1996. - с.26-27.

5. Дубкова Н.З., Галиакберов З.К., Николаев Н.А. Сухие порошки из растительного сырья. // Тез. докл. межрегиональной научно-практической конференции "Пищевая промышленность-2000", Казань, 1996. - с.145-146.

6. Карелина Т.В., Дубкова Н.З. Вибрационная технология получения порошка из растительного сырья. // Тез. докл. конференции молодых ученых "Пищевые технологии", Казань 1998.- с.21.

7. Иванова Г.И., Дубкова Н.З. Топинамбур - энергетический и фармацевтический потенциал республики Татарстан. // Тез. докл. конференции молодых ученых "Пищевые технологии", Казань, 1998.- с.22.

8. Коновалов А.Ю., Дубкова Н.З. Теплообмен в вибрационной сушилке-мельнице. // Тез. докл. конференции молодых ученых "Пищевые технологии", Казань, 1998. - с.20.

9. Дубкова Н.З., Галиакберов З.К., Николаев Н.А. Высокоэффективный процесс сушки корнеплодов. // Тез. докл. межрегиональной научно-практической конференции "Пищевая промышленность-2000", Казань, 1998.-с.39-40.

10. Дубкова Н.З., Галиакберов З.К., Николаев Н.А. Энергосберегающая технология пищевых порошков. // Тез. докл. международной научно-технической конференции "Ресурсосберегающие технологии пищевых производств", С.Петербург, 1998.- с.150.

11. Дубкова Н.З., Иванова Г.И., Галиакберов З.К., Николаев Н.А. Математическое моделирование процесса перемешивания в вибрационной сушилке-мельнице. // Тез. докл. V международной научной конференции "Методы кибернетики химико-технологических процессов", Казань, 1999.- с.101.

12. Дубкова Н.З., Галиакберов З.К., Николаев Н.А. Сушка пищевых продуктов в вибрационной вакуумной сушилке-мельнице. Депонирована в ВИНТИ № 2167-В99, 1999.- 14с.

13. Левагина Е.А., Миндубаева Л.Я., Дубкова Н.З., Галиакберов З.К., Николаев Н.А. Сравнительная оценка кинетики сушки различного растительного сырья //

Тез. докл. конференции молодых ученых "Пищевые технологии", Казань 1999.- с.15.

14.Иванова Г.И., Дубкова Н.З., Галиакберов З.К., Николаев Н.А. Кинетика сушки топинамбура. // Тез. докл. конференции молодых ученых "Пищевые технологии", Казань 1999.-с.17.

15.Зайнуллин А.Ф., Дубкова Н.З., Галиакберов З.К., Николаев Н.А. Кинетика измельчения сухого растительного сырья. // Тез. докл. конференции молодых ученых "Пищевые технологии", Казань, 1999.- с.18.

16.Дубкова Н.З., Галиакберов З.К., Николаев Н.А. Кинетика сушки корнеплодов в вибрационной вакуумной сушилке мельнице. // Тез. докл. Третьих Вавиловских чтений, Йошкар-Ола, 1999.- с.359.

17.Дубкова Н.З., Галиакберов З.К., Николаев Н.А., Иванова Г.И. Вибрационная сушилка-мельница. Свидетельство на полезную модель № 14649, 2000.

18.Дубкова Н.З., Галиакберов З.К., Николаев Н.А. Методика технологического расчета вибрационной вакуумной сушилки-мельницы для получения порошка из растительного сырья. Казань КГТУ, 2001. – 12с.

Соискатель



Дубкова Н.З.

Тираж 100 экз.

Заказ 137

Офсетная типография КГТУ
420015, г.Казань, ул. К.Маркса, 68